

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO BỘ KHUẾCH ĐẠI SIÊU CAO TẦN TẠP ÂM THẤP (LNA) TẠI TẦN SỐ 9 GHz DÙNG CHO MÁY THU RADAR

Nguyễn Trần Tuấn¹, Bạch Gia Dương², Nguyễn Đức Thủy¹

¹ Viện Khoa học Kỹ thuật Bưu điện, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

² Trung tâm Nghiên cứu Điện tử - Viễn thông, Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

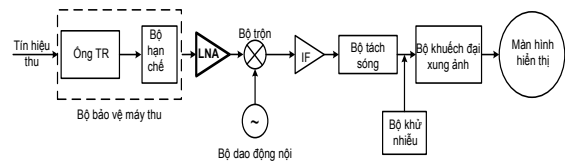
Tóm tắt: Trong bài báo này, thực hiện nghiên cứu thiết kế, chế tạo một bộ khuếch đại siêu cao tần tạp âm thấp (LNA) hoạt động ở tần số 9 GHz của băng tần X (từ 8 GHz đến 12 GHz) có khả năng đáp ứng các yêu cầu sử dụng trong máy thu radar với hệ số khuếch đại: $> 10\text{dB}$, hệ số tạp âm $< 0,8$ và hệ số phản xạ lỗi vào thấp hơn -20dB . Mạch thiết kế sử dụng SPF-3043, là một transistor trường pHEMT GaAs, được sử dụng khá phổ biến trong các thiết kế LNA do giá thành rẻ nhưng hiệu suất và hệ số khuếch đại cao, với tần số có khả năng mở rộng lên đến 10 GHz.

Từ khóa: LNA, phối hợp trở kháng, băng tần X, radar.

I. MỞ ĐẦU

Radar là một hệ thống vô tuyến phổ biến dùng để phát hiện và xác định vị trí của mục tiêu so với trạm radar. Từ khi ra đời cho đến nay, radar không ngừng được cải tiến và ngày càng hoàn thiện. Cùng với sự phát triển của các ngành khoa học, được ứng dụng thành tựu về tự động hóa, kỹ thuật điện tử, cùng với sự phát triển về vô tuyến điện, tính năng kỹ thuật, khai thác và hoạt động của radar được nâng cao không ngừng và ngày càng đi sâu vào phục vụ đời sống như giao thông hàng không, giám sát thời tiết và đặc biệt là trong lĩnh vực quân sự với khả năng phát hiện mục tiêu nhanh chóng và giám sát bảo vệ biển. Các radar hiện đại ngày nay sử dụng anten mảng pha băng X nhằm đạt được độ phân giải cao ảnh quét trên màn hình radar.

Chính vì vậy, trong các hệ thống radar, máy thu luôn đóng vai trò quan trọng, có nhiệm vụ nhận tín hiệu phản xạ từ mục tiêu về, qua anten, biến thành tín hiệu điện rồi khuếch đại đưa sang thiết bị chỉ báo hiển thị điểm dấu mục tiêu [4].



Hình 1. Sơ đồ khối máy thu radar

Bộ khuếch đại tạp âm thấp (LNA) thể hiện trong Hình 1 là bộ khuếch đại tầng đầu vào của máy thu radar, được đặt gần anten, có vai trò quan trọng nhằm tăng tín hiệu thu mong muốn và giảm tạp âm gây ra trên tuyến anten và feeder. Thiết kế, chế tạo thiết bị LNA làm việc ở băng tần X (8 GHz - 12 GHz) là một thử thách rất khó khăn do tần số làm việc rất cao nhưng thiết bị chế tạo được sẽ trở nên thiết thực trong xu hướng ngày càng nhiều ứng dụng kỹ thuật vào đời sống.

Mục đích chính của bài báo là nhằm đưa ra một thiết kế mạch khuếch đại tạp âm thấp (LNA) có cấu trúc đơn giản, sử dụng transistor trường là pHEMT GaAs SPF - 3043 có chi phí thấp nhưng hoạt động hiệu quả ở tần số cao. Một số tham số được lưu ý và khảo sát bao gồm hệ số khuếch đại, hệ số tạp âm và độ ổn định để qua đó tối ưu tại tần số cao, 9GHz thuộc băng tần X (8GHz - 12GHz) [6].

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

A. Bộ khuếch đại cao tần tạp âm thấp

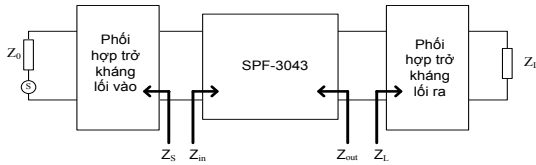
Mục tiêu thiết kế và chế tạo thành công bộ khuếch đại siêu cao tần tạp âm thấp (LNA) hoạt động ở

Tác giả liên hệ: Nguyễn Trần Tuấn

Email: tuannt.0408@gmail.com

Đến tòa soạn: 23/7/2016, chỉnh sửa: 30/8/2016, chấp nhận đăng: 03/9/2016.

băng tần X có khả năng đáp ứng các yêu cầu sử dụng trong máy thu radar. Dải tần làm việc: băng X (từ 8 GHz đến 12 GHz). Hệ số khuếch đại: > 10dB.

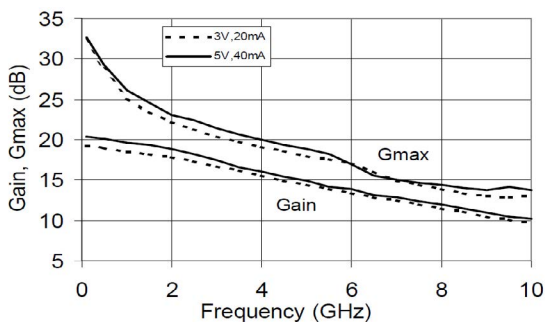


Hình 2. Sơ đồ khối mạch khuếch đại tập âm thấp

Sơ đồ bộ khuếch đại cao tần tập âm thấp, như thể hiện trong Hình 2 sử dụng cho thiết kế bao gồm phần phối hợp trở kháng lối vào, lối ra và linh kiện khuếch đại transistor trường cho các ứng dụng tần số cao.

B. Transistor trường SPF-3043

Linh kiện transistor được lựa chọn trong thiết kế, chế tạo bộ khuếch đại siêu cao tần tập âm thấp băng X dùng cho máy thu radar là SPF-3043 của Stanford [5]. Đây là transistor trường pHEMT GaAs được sử dụng khá phổ biến trong các thiết kế LNA do hiệu suất và hệ số khuếch đại cao, có khả năng mở rộng tần số lên đến 10 GHz. Một số tham số kỹ thuật của SPF-3043 được đưa ra theo Hình 3, theo đó trong băng tần X (từ 8 GHz đến 10 GHz), SPF-3043 có thể khuếch đại tín hiệu từ 10 dB đến 15 dB đảm bảo các yêu cầu cho việc thiết kế LNA ở băng tần X có hệ số khuếch đại đạt yêu cầu đối với một hệ thống anten cỡ nhỏ đến trung bình, trong khi chi phí lại không quá cao.



Hình 3. Hệ số khuếch đại của SPF-3043

C. Khảo sát một số tham số chính

1) Khảo sát độ ổn định

Tại tần số mong muốn thiết kế (9 GHz), ta sẽ khảo sát độ ổn định của transistor trường SPF-3043. Độ

ổn định được tính theo hai hệ số K và ΔS theo 2 công thức sau [6]:

$$\Delta S = |S_{11}S_{22} - S_{21}S_{12}| \tag{1}$$

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta S|^2}{2|S_{21}S_{12}|} \tag{2}$$

Với hệ số $K > 1$, $\Delta S < 1$, khi thiết kế mạch với transistor SPF-3043 tại 9GHz, mạch ổn định vô điều kiện.

2) Khảo sát hệ số phẩm chất

Mục đích của việc khảo sát hệ số phẩm chất U nhằm đơn giản hóa việc thiết kế và đánh giá sai số khi thiết kế mạch khuếch đại tập âm thấp [3]. Trước tiên ta xét theo công thức:

$$\frac{1}{(1+U)^2} < \frac{G_T}{G_{TU_{max}}} < \frac{1}{(1-U)^2} \tag{3}$$

Trong đó: U được gọi là hệ số phẩm chất đơn hướng.

$$U = \frac{|S_{12}| \|S_{21}\| |S_{11}| |S_{22}|}{(1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2)} \tag{4}$$

Giá trị U thể hiện sai số khi xem xét hệ số công suất truyền ngược S_{12} đủ nhỏ gần tới 0. Với giá trị U đủ nhỏ gần tới 0, ta có thể coi $S_{12} \approx 0$.

3) Ước lượng hệ số khuếch đại

Hệ số khuếch đại tối đa của mạch thiết kế có thể ước lượng thông qua các tham số tán xạ của SPF-3040, do đã coi $S_{12} \approx 0$, nên ta có thể ước lượng hệ số khuếch đại mạch thiết kế đạt tới theo công thức [3]:

$$G_{TU_{max}} = \frac{1}{1 - |S_{11}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1}{1 - |S_{22}|^2} \tag{5}$$

D. Tính toán lý thuyết nhánh lối vào và lối ra

Từ các tham số S-Parameter của SPF-3043 theo file .S2P, ta có các tham số quan trọng: $S_{11} = 0,50602 \angle -146,318$ và $S_{22} = 0,13321 \angle -152,768$ cho việc tính toán phối hợp trở kháng lối vào và lối ra tần số 9 GHz.

Vì ta xem như $S_{12} \approx 0$ nên ta có hệ số phản xạ lối vào và lối ra tương ứng:

$$\Gamma_{in} = S_{11}, \Gamma_{out} = S_{22} \quad (6)$$

Khi đó, việc xác định trở kháng lối vào và lối ra mạch phối hợp trở kháng của linh kiện SPF-3043 với đường truyền $Z_0 = 50 \Omega$ được thực hiện theo công thức như sau [2]:

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}} \quad Z_{out} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{out}}{1 - \Gamma_{out}} \quad (7)$$

Thay các giá trị vào hai công thức trên, ta tính được:

$$Z_{in} = 17,75 + j*13,35; \quad Z_{out} = 39,15 - j*4,85 \quad (8)$$

Phương thức phối hợp trở kháng cho mạch thiết kế này là sử dụng đoạn dây có độ dài $\lambda/4$, do phương pháp này dễ thực hiện cả trong tính toán lý thuyết và chế tạo mạch thực tế. Vì phương pháp này chỉ có thể dùng để phối hợp trở kháng thuần trở với đường truyền, trong khi giá trị trở kháng lối vào Z_{in} và lối ra Z_{out} có thành phần phức nên ta phải đưa điểm kháng phức này về giá trị trở kháng thuần trở bằng cách sử dụng đoạn đường truyền giữa tải và đoạn dây $\lambda/4$.

Sử dụng công cụ giản đồ Smith, vẽ đường tròn qua điểm trở kháng phức sẽ cắt đường đẳng $x = 0$ (trục thực) tại hai điểm, tương ứng 2 nghiệm thực (trở kháng thuần trở). Từ hai điểm này, khi đi về tâm ($Z_0 = 50 \Omega$) sẽ thực hiện phối hợp trở kháng, ta xác định được độ dài của đoạn đường truyền giữa tải và đoạn dây $\lambda/4$.

Đối với $Z_{in} = 17,75 + j*13,35$, ta xác định được 2 bộ nghiệm sau:

Nghiệm 1	Nghiệm 2
$d_1 = 0,20329 \lambda$	$d_2 = 0,45329 \lambda$
$Z(d_1) = 152,2112 \Omega$	$Z(d_1) = 16,4245 \Omega$
$Z_{\lambda/4} = 87,2385 \Omega$	$Z_{\lambda/4} = 28,6571 \Omega$

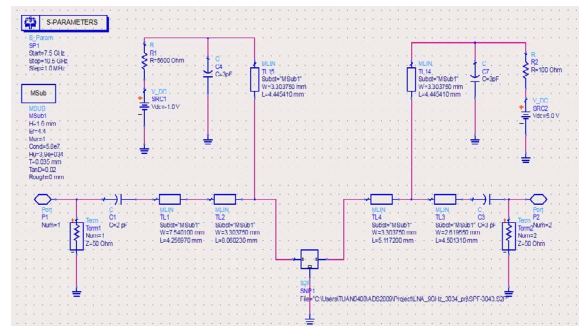
Tương tự, đối với $Z_{out} = 39,15 - j*4,85$, ta cũng xác định được hai bộ nghiệm sau:

Nghiệm 1	Nghiệm 2
$d_1 = 0,033778 \lambda$	$d_2 = 0,28778 \lambda$
$Z(d_1) = 38,2524 \Omega$	$Z(d_1) = 65,3554 \Omega$
$Z_{\lambda/4} = 43,7335 \Omega$	$Z_{\lambda/4} = 57,1644 \Omega$

III. MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

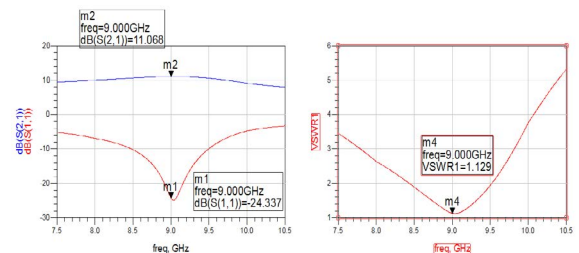
Công cụ mô phỏng được thực hiện bằng công cụ ADS 2009. Sử dụng công cụ LineCalc trong ADS 2009, ta xác định giá trị W và L của đường truyền vi dải [1].

Sơ đồ mạch phối hợp trở kháng được sử dụng trong thử nghiệm mô phỏng thể hiện trong Hình 4:



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý mạch phối hợp lối vào và lối ra sử dụng trong mô phỏng

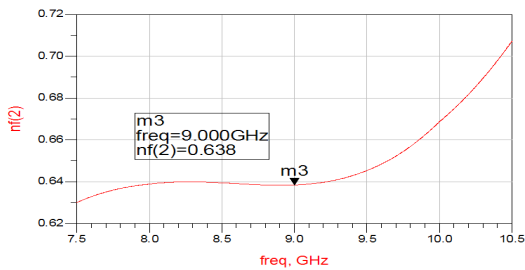
Mạch thiết kế gồm hai nhánh, lối vào và lối ra. Đối với mỗi nhánh sẽ gồm 2 đường truyền vi dải theo tính toán lý thuyết trong mục II.F. Đối với việc cấp nguồn cho nhánh lối vào và lối ra, sử dụng đoạn dây có trở kháng $Z_0 = 50 \Omega$ ($W = 3,30375 \text{ mm}$ và $L = 4,44541 \text{ mm}$) và một điện trở cao $R = 5600 \Omega$ nhằm đảm bảo cường độ dòng lối vào transistor đủ nhỏ, cùng hệ thống các tụ từ 2 - 3 pF để tránh làm hỏng transistor.



Hình 5. Tham số S_{11} , S_{21} và VSWR

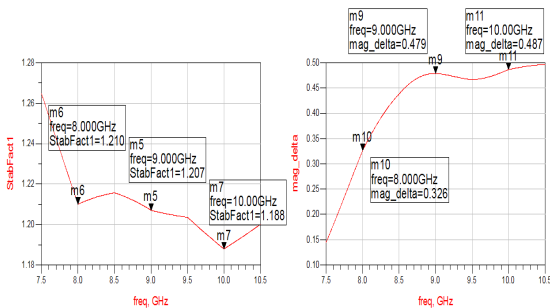
Tại 9 GHz (như thể hiện trong Hình 5):

- Hệ số S_{11} = -24,337 dB (đồ thị giảm sâu) cho thấy hệ số phản xạ lồi vào thấp đảm bảo yêu cầu thiết kế sao cho không gây mất mát công suất lồi ra do phản xạ lồi vào.
- Hệ số S_{21} = 11,068 dB là công suất khuếch đại lồi ra, đảm bảo theo yêu cầu thiết kế > 10dB.
- Hệ số sóng đứng VSWR = 1,129 đảm bảo yêu cầu xấp xỉ bằng 1, cho thấy hệ số phản xạ thấp (lý tưởng khi hệ số sóng đứng bằng 1, không có phản xạ).



Hình 6. Hệ số tạp âm

Hệ số tạp âm của mạch thiết kế $nf = 0,638 < 0,8$ đủ nhỏ nhằm đảm bảo hệ số khuếch đại lồi ra đủ lớn cho việc chế tạo bộ khuếch đại tạp âm thấp LNA (Hình 6).

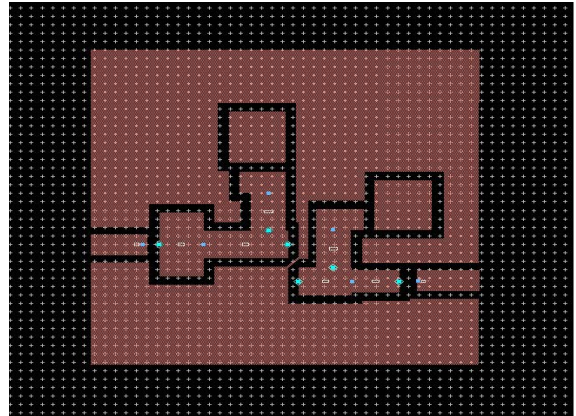


Hình 7. Hệ số K và ΔS

Theo kết quả mô phỏng Hình 7, tại tần số 9 GHz, hệ số $K = 1,207 > 1$ và $\Delta S = 0,479 < 1$. Do đó, mạch thiết kế đạt độ ổn định vô điều kiện, đảm bảo cho việc chế tạo LNA.

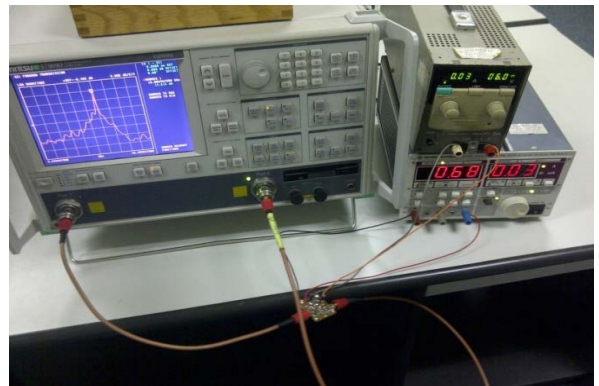
IV. CHẾ TẠO BỘ KHUẾCH ĐẠI TRONG THỰC TẾ

Thiết kế layout của mạch mô phỏng [1]:



Hình 8. Layout của LNA bằng X sử dụng SPF-3043

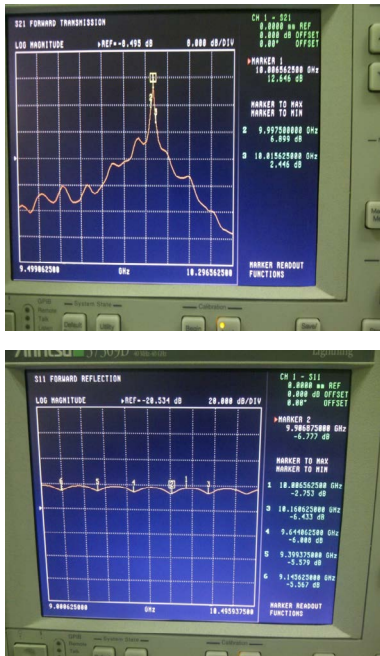
Từ mạch mô phỏng [1], xây dựng thiết kế mạch layout cho phù hợp với kích thước từng linh kiện như transistor SPF-3043, tụ điện, điện trở,... thực tế. Mạch layout sau khi hoàn thiện sẽ đưa vào hệ thống máy phay để cắt và tạo đường trên một tấm phíp đồng FR-4.



Hình 9. Đo kiểm tra với máy Anritsu 37369D

Kết quả chế tạo bộ khuếch đại tạp âm thấp LNA đưa ra với kích thước 4×4 (cm) và thực hiện đo đánh giá mạch LNA sử dụng SPF-3043 bằng máy đo chuyên dụng Anritsu 37369D (Hình 9).

Cấp nguồn cho lồi ra trước với giá trị thiết lập điện áp = 6V, cường độ dòng = 0,03A. Đối với nguồn cấp cho lồi vào, cường độ dòng = 0,03A và thay đổi điện áp tăng dần từ 0V cho đến khi màn hình hiện thị phối hợp trở kháng (xuất hiện S_{21}) tại điện áp 0,68V.



Hình 10. Tham số S21 và S11 trên máy Anritsu 37369D

Kết quả đo mạch khuếch đại tạp âm thấp LNA có thể thấy tại 10 GHz, hệ số khuếch đại lõi ra cao $S_{21} = 12,646$ dB và hệ số phản xạ lỗi vào $S_{11} = -2,753$ dB.

V. KẾT LUẬN

Thiết kế, chế tạo bộ khuếch đại siêu cao tần tạp âm thấp LNA làm việc ở băng X (từ 8GHz đến 12 GHz) là một thử thách vô cùng khó khăn do tần số làm việc rất cao. Mạch khuếch đại chế tạo bị lệch tần so với mạch thiết kế, mô phỏng (9 GHz so với 10 GHz). Nguyên nhân là do:

- Mạch chế tạo không thể đạt độ chính xác tuyệt đối như mạch mô phỏng (sai số về chiều dài L và độ rộng W của đường truyền).
- Kỹ thuật chế tạo bao gồm phay mạch, hàn, linh kiện sử dụng chưa đảm bảo đủ tốt dẫn đến phát sinh nhiễu ký sinh gây ảnh hưởng đến mạch chế tạo.
- Điều kiện chưa cho phép thực hiện mô phỏng và đo thực tế sóng TEM điện từ trường nhằm thấy được sự phân bố đường sức điện từ trường trên đường truyền dẫn sóng. Qua đó, xác định

và điều chỉnh các vấn đề gây ảnh hưởng tới mạch.

Tuy nhiên, với mục tiêu ban đầu đặt ra, mạch LNA chế tạo vẫn đảm bảo điều kiện làm việc trong băng tần X (8 GHz đến 12 GHz) của máy thu radar.

Hệ số khuếch đại của mạch cao 12,646 dB (tại tần số 10 GHz), chưa xét đến suy hao do dây đo (2-3 dB). Mạch chế tạo có khả năng đáp ứng trong các máy thu radar cỡ nhỏ đến trung bình với các ứng dụng như giám sát thời tiết, bề mặt sân bay hay trên các tàu giám sát biển. Bộ LNA được thiết kế chế tạo như đã trình bày cần được tích hợp với bộ hạn chế bảo vệ LNA khi lắp vào tuyến thu của radar băng X [1].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trần Tuấn, Nghiên cứu thiết kế, chế tạo bộ khuếch đại siêu cao tần tạp âm thấp (LNA) băng X dùng cho máy thu radar, Luận văn Thạc sỹ, Đại học Công Nghệ, Đại học Quốc Gia, Hà Nội, (2015).
- [2]. Bạch Gia Dương, Trương Vũ Bằng Giang, Kỹ thuật siêu cao tần, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia, Hà Nội, (2013).
- [3]. David.M.Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Son, Fourth Edition, (2012).
- [4]. Merrill I.Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, Second Edition, (1981).
- [5]. SPF-3043 Datasheet – Stanford Microdevices.
- [6]. Mohammed Lahsaini, Lahbib Zenkour, Seddik Bri, Design of a Wide Band Low Noise Amplifier 9,5 - 12,5 GHz, International Journal of Microwaves Applications, Volume 2, No.1, January – February 2013, tr.1-2.

THE STUDY DESIGN, FABRICATION OF A 9GHz LOW-NOISE AMPLIFIER (LNA) USING FOR THE RADAR'S RECEIVER

Abstract: This paper performs the study design, fabrication of a low-noise amplifier (LNA) operating at 9GHz of X-band (8GHz to 12GHz) that

be able to meet requirements using for the radar's receiver with gain greater than 10dB, noise figure less than 0,8 and reflection coefficient at the input (S_{11}) lower than -20dB. The design circuit uses a common SPF-3043 in LNA design that is pHEMT GaAs transistor with low cost but high gain and performance, potentially extended frequency up to 10GHz.

Keywords: LNA, impedance matching, X-band, radar.



ThS. Nguyễn Trần Tuấn, tốt nghiệp đại học và cao học vào năm 2011 và 2015 tại Đại học Công nghệ, ĐHQG, Hà Nội. Hiện công tác tại Viện Khoa học Kỹ thuật Bưu điện. Lĩnh vực nghiên cứu: Lý thuyết thông tin, truyền thông vô tuyến.



PGS.TS. Bạch Gia Dương, tốt nghiệp đại học năm 1972 tại Đại học Tổng hợp Hà Nội và làm luận án Tiến sĩ chuyên ngành Điện tử - Viễn thông năm 1990 tại Đại học Tổng hợp Lê-nin-grat. Hiện công tác tại Trung tâm nghiên cứu Điện tử - Viễn thông, Đại học Công nghệ, ĐHQG Hà Nội. Lĩnh vực nghiên cứu: Xử lý tín hiệu số, điều khiển tự động, công nghệ và kỹ thuật radar, thiết kế chip.



TS. Nguyễn Đức Thủy, tốt nghiệp đại học chuyên ngành Điện tử - Viễn thông Đại học Bách khoa, Hà Nội, học cao học tại Đại học Hàn Quốc và bảo vệ luận án Tiến sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Hiện công tác tại Viện Khoa học Kỹ thuật Bưu điện. Lĩnh vực nghiên cứu: Lý thuyết thông tin, truyền thông vô tuyến, công nghệ truyền thông thế hệ mới và Internet of Things.